Tecnología Electrónica

Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR). El término 'rechazo al modo común' hace referencia a un parámetro de los amplificadores operacionales. En el montaje que vamos a analizar, cuando las tensiones en las patillas V^+ y V^- son iguales, existe una pequeña señal de salida. Lo ideal sería que ésta fuera cero. De ahí la importancia del alto rechazo, pues garantiza que dicha señal será lo más pequeña posible.

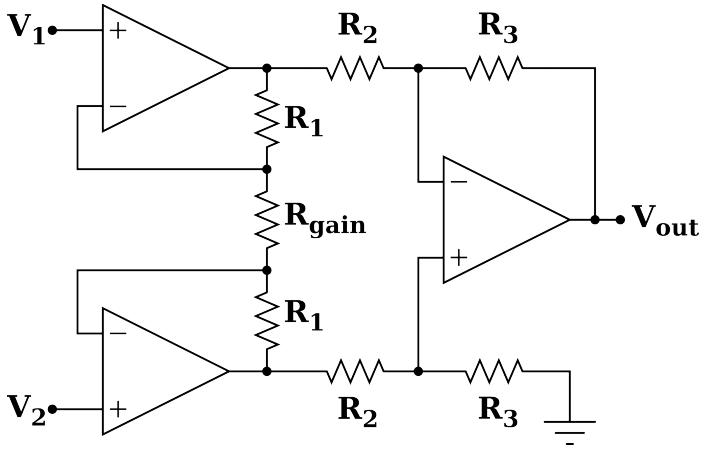

Figura 1: Amplificador de instrumentacion construido con componentes discretos

Se trata de un dispositivo disponible en diversos encapsulados, como por ejemplo el INA114 que fabrica la empresa Burr-Brown en formato DIP-8 y SOL-16. Sin embargo, el análisis de este tipo de dispositivos no resulta de interés para la labor que nos ocupa, pues el objetivo es analizar el funcionamiento interno de éste y no sus posibles aplicaciones. En este sentido, la Figura 1 muestra la configuración interna de un amplificador de instrumentación estándar. Como puede observarse, está compuesto por tres amplificadores operacionales y un total de cinco resistencias con tres valores diferentes. La entrada está compuesta por dos tensiones y obtenemos una sola como salida. A fin de entender mejor el análisis del dispositivo, lo dividiremos en dos etapas. La primera de ellas la compondrán los dos amplificadores operacionales situados a la izquierda, cuyas salidas son las entradas del tercero. A partir de los valores obtenidos para las salidas, solucionaremos la etapa de la derecha, que como veremos no es mas que un montaje restador.

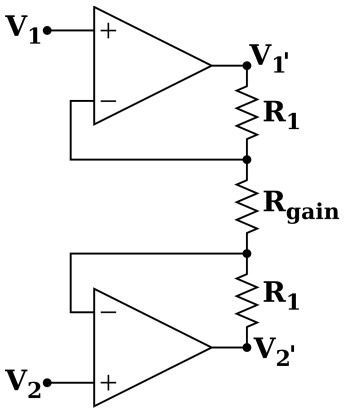

Figura 2: Tratamiento de las tensiones de entrada

Podemos ver en la Figura 2 que el tratamiento de las tensiones consiste en un montaje formado por dos amplificadores operacionales y tres resistencias. Para calcular los valores de $V_{1'}$ y $V_{2'}$, debemos tener en cuenta dos caracteristicas básicas de los amplificadores operacionales. La primera de ellas es que la impedancia de entrada es idealmente infinita. No sucede lo mismo con la salida, pero como veremos, esto no nos afecta. En segundo lugar, el concepto de 'masa virtual' nos indica que la tensión en la patilla V^+ de un amplificador es igual a la que encontramos en la patilla V^-. Teniendo esto en cuenta, podemos saber que la tensión existente en el punto común entre R_{gain} y la resistencia R_1 de la parte superior es V_1, y la que tenemos entre R_{gain} y la resistencia R_1 de la parte inferior V_2.

Hechas las valoraciones anteriores, conocemos la tensión existente en bornes de R_{gain}. Aplicando la Ley de Ohm, podemos calcular la corriente que circula a través de ésta. Además, debido a la impedancia de entrada infinita, y aplicando la Ley de corrientes de Kirchhoff, sabemos que ésa será la misma corriente que circule a través de las dos resistencias R_1, por lo que podemos deducir las tensiones $V_{1'}$ y $V_{2'}$. La corriente que circule desde la salida de cada uno de los operacionales hacia la etapa siguiente nos es indiferente, pues no afecta a la rama que estamos analizando, y por lo tanto no modifica los valores de las tensiones a calcular:

$$I_{R_{gain}} = \frac{(V_1 - V_2)}{R_{gain}} \tag{1}$$

$$I_{R_{gain}} = I_{R_1} \tag{2}$$

$$V_{1'} = V_1 + I_{R_1} \cdot R_1 = V_1 + \frac{(V_1 - V_2)}{R_{gain}} \cdot R_1 \tag{3}$$

$$V_{2'} = V_2 - I_{R_1} \cdot R_1 = V_2 - \frac{(V_1 - V_2)}{R_{gain}} \cdot R_1 \tag{4}$$

Como ya hemos adelantado, la segunda parte del dispositivo es un circuito diferencial o restador compuesto por un amplificador operacional y dos entradas (las salidas de la etapa anterior). La Figura 3 muestra esta etapa, con los elementos de la primera ya retirados. El cálculo de este apartado podríamos atacarlo mediante la Ley de corrientes de Kirchhoff y la Ley de Ohm, como hiciéramos en el anterior. Sin embargo, lo haremos por superposición, dado que mediante este método los circuitos resultantes son ya conocidos y podemos aplicar las fórmulas directamente.

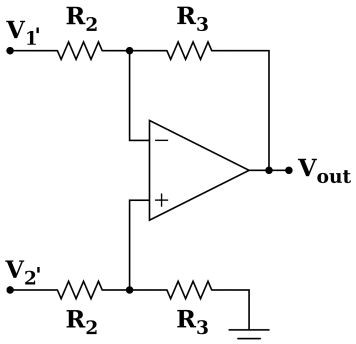

Figura 3: Resto de las señales de entrada modificadas

En primer lugar dejaremos únicamente la entrada $V_{1'}$, sustituyendo $V_{2'}$ por un cortocircuito. En estas condiciones, la patilla V^+ del amplificador operacional queda conectada a masa, pues tenemos un divisor de tensión de masa a masa. El circuito resultante es un montaje inversor. A continuación, sustituiremos $V_{1'}$ por un cortocircuito y nos quedaremos sólo con $V_{2'}$. El resultado es un montaje no inversor, cuya fórmula también nos es conocida:

$$V_{out_1} = -V_{in} \cdot \frac{R_f}{R_{in}} = -V_{1'} \cdot \frac{R_3}{R_2} \tag{5}$$

$$V_{out_2} = V^+ \cdot (1 + \frac{R_f}{R_{in}}) = V_{2'} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot (1 + \frac{R_3}{R_2}) \tag{6}$$

Por último, sumamos las expresiones (5) y (6) para obtener como resultado el valor final de V_{out}:

$$V_{out} = V_{out_1} + V_{out_2} = -V_{1'} \cdot \frac{R_3}{R_2} + V_{2'} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot (1 + \frac{R_3}{R_2}) \tag{7}$$

Si quisiéramos la expresión final en funcion de V_1 y V_2, sólo tendríamos que sustituir (3) y (4) en (7). Pese a que no resulta una sustitución complicada, no he conseguido obtener los resultados vistos en las fuentes consultadas, por lo que he optado por no desarrollar la expresión:

$$V_{out} = -(V_1 + \frac{(V_1 - V_2) \cdot R_1}{R_{gain}}) \cdot \frac{R_3}{R_2} + (V_2 - \frac{(V_1 - V_2) \cdot R_1}{R_{gain}}) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot (1 + \frac{R_3}{R_2}) \tag{8}$$

Referencias

- Wikipedia. Colaboradores de la wikipedia.
  http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_de_instrumentación
  http://es.wikipedia.org/wiki/Rechazo_al_modo_común
- Instrumentación electrónica de comunicaciones. Tema III. Escuela Ténica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria.
  http://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_3.pdf
- Datasheet INA114. Burr-Brown.
  http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/ina114.pdf